

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



74  
PRIVAT  
73142  
10/29/01  
U.S. PRO  
10/10/1772  
10/29/01

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 53 326.4

**Anmeldetag:** 27. Oktober 2000

**Anmelder/Inhaber:** ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Mikromechanisches Bauelement und Herstellungsverfahren

**IPC:** B 81 B, H 01 L und B 81 C

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 23. Mai 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Brand

EV003627562

R. 39199  
10.10.00 SB/cb

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Mikromechanisches Bauelement und Herstellungsverfahren

5

STAND DER TECHNIK

Die vorliegende Erfindung betrifft ein mikromechanisches Bauelement mit einem Substrat und einer auf dem Substrat aufgebrachten Membran und ein entsprechendes Herstellungsverfahren.

Obwohl auf beliebige mikromechanische Bauelemente und Strukturen, insbesondere Sensoren und Aktuatoren, anwendbar, werden die vorliegende Erfindung sowie die ihr zugrundeliegende Problematik in bezug auf einen in der Technologie der Silizium-Oberflächenmikromechanik herstellbaren mikromechanischen Taupunktsensor erläutert.

Bereits veröffentlicht in der WO 96/05506 wurde das Prinzip, den Taupunkt zu sensieren, indem ein mikromechanisches Sensorelement durch ein Peltierelement solange abgekühlt wird, bis auf der Oberfläche Feuchtigkeit kondensiert. Die Temperatur des Sensorelements, bei der die Kondensation eintritt, wird mittels eines Temperaturfühlers gemessen und so der Tau-

punkt bestimmt.

Insbesondere offenbart die WO 96/05506 eine Anordnung aus Peltierelement, Temperaturfühler, Interdigitalkondensator und

5 Mikroprozessor zur Auswertung. Das Einsetzen der Betauung kann durch Änderung der Kapazität des besagten Interdigital-kondensators festgestellt werden.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Betauung durch  
10 eine optische Messung (siehe auch D. Heinze, „Halbleitertechnologien zur Herstellung moderner Feuchtesensoren“, Sensor 91, Nürnberg 1991, Kongreßband IV, 112-121) festzustellen.

Die Herstellung eines Peltierelements mittels n- und p-  
15 dotierter Halbleiter, die durch eine Metallbrücke verbunden sind, ist bereits lange bekannt (z.B. M. von Ardenne et al. (Hrsg.), „Effekte der Physik und ihre Anwendungen“, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main 1990, S. 399)

20 Die US-A-5,714,791 beschreibt ein Peltierelement mittels n- und p-dotierter Halbleiterbereiche auf einer Membran, wobei die Membran durch Ätzen einer Kaverne von der Substratrückseite her thermisch isoliert wird.

25 Das Verfahren, Silizium porös zu ätzen („Anodisieren“), ge-

hört zum Stand der Technik und ist in zahlreichen Veröffentlichungen beschrieben. Das Verfahren, unter einer porösen Silizium-Schicht einen Hohlraum zu erzeugen, wurde ebenfalls bereits veröffentlicht (G. Lammel, P. Renaud, "Free-standing, 5 mobile 3D microstructures of porous silicon", Proceedings the 13th European Conference on Solid-State Transducers, Eurosensors XIII, Den Haag, 1999, 535-536).

Als nachteilhaft bei den bekannten Taupunktsensoren hat sich 10 die Tatsache herausgestellt, daß ihre Herstellung schwierig und aufwendig ist.

#### VORTEILE DER ERFINDUNG

15 Das erfindungsgemäße mikromechanische Bauelement mit den Merkmalen des Anspruchs 1 bzw. das entsprechende Herstellungsverfahren nach Anspruch 10 weisen den Vorteil auf, daß eine einfache und kostengünstige Herstellung eines Bauelements mit thermisch entkoppeltem Membranbereich möglich ist.

Z.B. durch die Verwendung von porösem Silizium kann relativ einfach eine tiefe Kaverne mit einer darüberliegenden Membran hergestellt werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, einen definierten Bereich auf einem Wafer bis zu einer definierten Dicke porös zu machen und als Option aufzuoxidieren,

um ein stabiles Gerüst mit geringer thermischer Leitfähigkeit zu erzeugen. Bei der Realisierung eines Taupunktsensors mit diesem Verfahren erhält man folgende weitere Vorteile:

5 • Geringe Leistungsaufnahme aufgrund guter thermischer Entkopplung

• Integration eines Sensorelements, z.B. Peltierelementes, auf dem Chip

10

• Mögliche Integration einer Schaltung auf dem Sensorelement

• Sehr kleine Baugröße

15 • Geringe Ansprechzeit aufgrund der kleinen Masse, die umtemperiert werden muß

20 Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, daß unterhalb der Membran ein die Membran mechanisch unterstützender und thermisch isolierender Bereich aus porösem Material vorgesehen ist.

In den jeweiligen Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des in Anspruch 1 ange-

benen mikromechanischen Bauelements bzw. des in Anspruch 11 angegebenene Herstellungsverfahrens.

5 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist das poröse Material aus dem Substratmaterial gebildet. Dies ist insbesondere bei einem Siliziumsubstrat leicht möglich.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist unterhalb des Bereichs aus porösem Material ein Hohlraum gebildet.

10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung wird die Membranschicht dadurch gebildet, daß die Substratoberfläche und die Oberfläche des porösen Bereichs oxidiert sind. So läßt sich die Abscheidung einer zusätzlichen Membranschicht ein-  
15 sparen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist der Bereich aus porösem Material vollständig oxidiert. Eine derartige Oxidation ist aufgrund der porösen Struktur leicht möglich und erhöht das thermische Isolationsvermögen.

20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist das Bau-element einen Taupunktsensor auf, der weiterhin ein oberhalb des Bereichs aus porösem Material vorgesehenes Thermoelement zum Erfassen der Temperatur; einen oberhalb des Bereichs aus

porösem Material vorgesehenen Interdigitalkondensator; eine Peltierelementeinrichtung mit einem oder mehreren Peltierelementen zum Aufheizen und Abkühlen der Membran; und eine Taupunkterfassungseinrichtung zum Erfassen des Taupunktes anhand

5 der Kapazität des Interdigitalkondensators und der vom Thermoelement erfaßten Temperatur umfaßt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist das Bau-  
element einen Wärmestrahlungssensor auf, der weiterhin eine  
10 oberhalb des Bereichs aus porösem Material vorgesehene Ab-  
sorptionseinrichtung zum Absorbieren von Wärmestrahlung; eine  
Peltierelementeinrichtung mit einem oder mehreren Peltierele-  
menten zum Erzeugen einer Thermospannung entsprechend einer  
Temperaturdifferenz zwischen einem Membranbereich neben dem  
15 Bereich aus porösem Material und einem Membranbereich ober-  
halb dem Bereich aus porösem Material; und eine Temperaturer-  
fassungseinrichtung zum Erfassen der Temperatur im Membranbe-  
reich oberhalb dem Bereich aus porösem Material umfaßt.

20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung erfaßt die  
Temperaturerfassungseinrichtung die Temperatur basierend auf  
der Thermospannung.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist eine Rege-  
25 lungseinrichtung zum Regeln der Temperatur in dem Membranbe-

reich oberhalb dem Bereich aus porösem Material mittels der Peltierelementeinrichtung vorgesehen, und die Temperatur erfassungseinrichtung erfaßt die Temperatur basierend auf der Regelleistung.

5

#### ZEICHNUNGEN

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

10

Es zeigen:

Fig. 1 eine Aufsicht auf einen Taupunktsensor gemäß einer  
15 ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2-4 Herstellungsschritte zur Herstellung des Taupunktsensors nach Fig. 1;

20 Fig. 5-6 Herstellungsschritte zur Herstellung des Taupunktsensors gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 7 eine Aufsicht auf einen Wärmestrahlungssensor gemäß  
25 einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Er-

findung.

#### BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

5 In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten. ;

Fig. 1 ist eine Aufsicht auf einen Taupunktsensor gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

10

In Figur 1 bezeichnet Bezugszeichen 1 ein Thermoelement, 2 einen Interdigitalkondensator, 3 eine p-dotierte Leiterbahn, 4 eine n-dotierte Leiterbahn, 5 eine Metallleitung, 6 Kontaktflächen bzw. Kontaktpads, 10 ein Halbleitersubstrat, 40 eine auf der Oberfläche des Halbleitersubstrats befindliche Membranschicht und 300 die Grenze eines Bereichs, in dem unter der Membranschicht 40 ein die Membranschicht 40 mechanisch unterstützender und thermisch isolierender Bereich aus porösem Material vorgesehen ist. Im vorliegendem Fall ist das Substratmaterial Silizium und das poröse Material anodisiertes (porös geätztes) Silizium.

Zum Betrieb der in Figur 1 gezeigten Sensorstruktur wird die aus den verschiedenen in Reihe geschalteten Peltier-Elementen 25 3, 4, 5 gebildete Peltier-Element-Einrichtung derart gere-

gelt, dass auf der Oberfläche der Membranschicht 40 innerhalb des Bereichs 300 durch Abkühlen oder Aufheizen der Übergang vom betauten zum nichtbetauten Zustand bzw. umgekehrt festgestellt werden kann, da dieser Bereich thermisch gegenüber der Umgebung isoliert ist. Bei diesem Übergang ändert sich die Kapazität des Interdigitalkondensators 2 auf der Membranschicht 40 aufgrund der hohen Dielektrizitätszahl von Wasser ( $\epsilon_r = 81$ ). Die entsprechende Taupunkttemperatur wird dabei mittels des Thermoelements 1 gemessen.

10

Fig. 2-4 sind Herstellungsschritte zur Herstellung des Taupunktsensors nach Fig. 1.

15 In Figur 2 bezeichnen zusätzlich zu den bereits eingeführten Bezugszeichen 15 eine Maske, beispielsweise eine Lackmaske, und 100 Schaltungsbestandteile einer nicht näher erläuterten Sensorschaltung. Bei dem in Figur 2 gezeigten Substrat 10 handelt es sich um ein Siliziumsubstrat. Selbstverständlich können auch andere Substrate verwendet werden, beispielsweise ein Substrat mit einer Eptaxieschicht. Der Einfachheit halber wird jedoch im folgenden von einem Wafersubstrat ausgegangen.

20 25 Gemäß Figur 3 wird mit dem bekannten Verfahren des porösen Ätzens eine Struktur erzeugt, bei dem das Substratmaterial in einem bestimmten Bereich 30 porös gemacht wird und anschlie-

ßend ein Hohlraum 20 unter dem porösem Bereich 30 gebildet wird, also ein Teil des porösen Bereich 30 entfernt wird, was zu der in Figur 3 gezeigten Struktur führt.

In Figur 4 bezeichnet Bezugszeichen 40 die Membranschicht, 50 eine Isolierschicht, 60 eine Meßkapazität, 70 eine Metall-Leiterbahn und 80 Peltier-Leiterbahnen entsprechend den Leiterbahnen 3, 4 in Figur 1.

10 Um die in Figur 4 gezeigte Struktur herzustellen, wird nach dem Entfernen der Maske 15 der poröse Bereich 30 durch Abscheiden der Membranschicht 40, welche beispielsweise aus Nitrid, Oxid oder Poly-Silizium besteht, verschlossen. Eine weitere Möglichkeit zur Bildung der Membranschicht 40 besteht 15 darin, die Substratoberfläche und die Oberfläche des porösen Bereichs 30 zu oxidieren.

20 Dieses luftdichte Verschließen des Hohlraums 20 muss dabei nicht zwingend nach der Herstellung des Hohlraums 20 erfolgen, sondern kann auch als eine der letzten Prozeßschritte ausgeführt werden. Letzteres hat den Vorteil, dass während der Prozessierung die Membranschicht 40 nicht ausbeult und so zu Abbildungsfehlern bei einem Strukturierungsprozeß führt. Der sich letztendlich einstellende Innendruck in dem Hohlraum 25 20 ist abhängig von den bei der Abscheidung bzw. Oxidation

herrschenden Druckverhältnisse. Auf der Membranschicht 40 werden die Meßkapazität 60 entsprechend dem Interdigitalkondensator 2 in Figur 1, die Metall-Leiterbahnen 70 und die Peltier-Leiterbahnen 80 erzeugt. Es können zwischen der Membranschicht 40 und den Leiterbahnen 70 bzw. oberhalb der Leiterbahnen weitere Funktionsschichten aufgebracht und strukturiert werden.

Die vorliegende Ausführungsform weist einen Hohlraum 20 mit eingeschlossenem Vakuum unter der Membranschicht 40 auf, um eine gute thermische Isolation zum Substrat 10 zu gewährleisten. Die Isolierschicht 50 schützt so die gebildete Struktur vor Umwelteinflüssen.

Fig. 5-6 sind Herstellungsschritte zur Herstellung des Taupunktsensors gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Bei der mit Bezug auf Figur 5 und 6 gezeigten zweiten Ausführungsform wird kein Hohlraum unter dem porös gemachten Substratbereich 30' gebildet, sondern nach dem Entfernen der Maske 15 wird der poröse Bereich 30' unmittelbar durch Abscheiden der Membranschicht 40 bzw. durch die Oxidation verschlossen.

Die (nicht gezeigte) Oxidation hat dabei den Vorteil, dass das Oxid eine geringere thermische Leitfähigkeit besitzt als das Silizium somit eine bessere Entkopplung zum Substrat 10 gewährleistet werden kann. Auf der Membranschicht 40 werden 5 wie bei der ersten Ausführungsform die Leiterbahnen etc. erzeugt.

Fig. 7 ist eine Aufsicht auf einen Wärmestrahlungssensor gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

10

Bei der in Figur 7 gezeigten Ausführungsform ist an Stelle des Thermoelements 1 und des Interdigitalkondensators 2 auf dem mittleren Membranbereich eine Wärmestrahlungssensoreinrichtung 2' vorgesehen, welche auftreffende Infrarotstrahlung 15 absorbiert und in Wärme umwandelt. So lässt sich auf einfache Art und Weise ein Wärmestrahlungssensor realisieren. Der Wärmeunterschied zwischen dem Mittelbereich der Membran 40 und dem Umgebungsbereich führt zu einer Thermospannung an den Peltier-Elementen 3, 4, 5, die jetzt als Thermoelemente wirken. Die Thermospannung ist somit ein Maß für die absorbierte 20 Infrarotstrahlung.

Bei einer weiteren (nicht gezeigten) Ausführungsform ist es möglich, den Mittelbereich der Membran so zu regeln, dass er 25 mit einem darauf vorgesehenen Thermoelement auf gleicher Tem-

peratur bleibt, in dem die durch die Infrarotstrahlung erzeugte Wärme durch das Peltier-Element abgeführt wird. Die Kühlleistung des Peltier-Elements ist dann ein Maß für die absorbierte Infrarotstrahlung.

5

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

10

In den obigen Beispielen sind der erfindungsgemäße Taupunktsensor bzw. Wärmestrahlungssensor in einfachen Formen zur Erläuterung ihrer Grundprinzipien aufgeführt worden. Kombinationen der Beispiele und wesentlich kompliziertere Ausgestaltungen unter Verwendung derselben Grundprinzipien sind selbstverständlich denkbar.

15

Weiterhin ist es möglich, nach oder zwischen den obigen Prozeßschritten den porösen Bereich 30, 30' selektiv zuätzen. Dazu können in der Membranschicht 40 eine oder mehrere Öffnungen realisiert werden, durch die ein selektiv wirkendes Ätzmedium im flüssigen oder gasförmigen Zustand den porösen Bereich teilweise oder vollständig herauslösen kann. Die Öffnungen können anschließend wieder verschlossen werden, wobei 20 dabei bevorzugt ein Vakuum in dem Hohlraum 20 eingeschlossen

25

wird, um eine optimale thermische Entkopplung zwischen Membran 40 und Substrat 10 zu gewährleisten. Die Öffnungen können auch bewusst nicht geschlossen werden. Dadurch kann der mittlere Membranbereich mit Funktionselementen so gestaltet 5 werden, dass er nur noch mit wenigen Stegen mit dem Substrat außerhalb der Kaverne verbunden ist (z.B. Verbindung nur über zwei Stege in Form einer Brücke). Dies führt zu einer sehr guten lateralen thermischen Entkopplung, die für die Funktion des Peltier-Elements wichtig ist.

10

Möglich ist, den Meßkondensator oberhalb des Peltier-Elements zu realisieren, wobei zwischen den beiden Lagen eine Isolierschicht eingefügt wird.

15 Weiterhin können die Peltier-Leiterbahnen aus Poly-Silizium auf einer isolierenden Verschlußschicht realisiert werden.

20 Möglich ist es weiterhin die Peltier-Leiterbahnen als p- und n-dotierte Bereiche in einer Epitaxieschicht, die als Verschlußschicht dient, zu realisieren.

Weiterhin ist es möglich zusätzlich Widerstandsleiterbahnen auf dem Membranbereich 40 zum schnellen Aufheizen der Membran zu realisieren. Der Hintergrund ist eine schnellere Regelung.

25

Weiterhin ist es möglich auf dem mittleren Membranbereich eine Spiegelschicht aufzubringen, um die Betauung optisch festzustellen.

- 5 Es können auch beliebige mikromechanische Grundmaterialien verwendet werden, und nicht nur das exemplarisch angeführte Siliziumsubstrat.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Mikromechanisches Bauelement

5

PATENTANSPRÜCHE

1. Mikromechanisches Bauelement mit:

10 einem Substrat (10); und

einer auf dem Substrat (10) aufgebrachten Membran (40);

dadurch gekennzeichnet, daß

15

unterhalb der Membran (40) ein die Membran (40) mechanisch unterstützender und thermisch isolierender Bereich (30; 30') aus porösem Material vorgesehen ist.

20 2. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das poröse Material aus dem Substratmaterial gebildet ist.

25 3. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß unterhalb des Bereichs (30) aus po-

rösem Material ein Hohlraum (20) gebildet ist.

4. Mikromechanisches Bauelement nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Membranschicht  
5 (40) dadurch gebildet ist, daß die Substratoberfläche und die  
Oberfläche des porösen Bereichs (30; 30') oxidiert sind.

5. Mikromechanisches Bauelement nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich (30;  
10 30') aus porösem Material vollständig oxidiert ist.

6. Mikromechanisches Bauelement nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement ei-  
nen Taupunktsensor aufweist, der weiterhin umfaßt:

15 ein oberhalb des Bereichs (30) aus porösem Material vorgese-  
henes Thermoelement (1) zum Erfassen der Temperatur;

20 einen oberhalb des Bereichs (30) aus porösem Material vorge-  
sehnen Interdigitalkondensator (2);

eine Peltierelementeinrichtung mit einem oder mehreren Pel-  
tierelementen (3, 4, 5) zum Aufheizen und Abkühlen der Mem-  
bran (40); und

eine Taupunkterfassungseinrichtung zum Erfassen des Taupunktes anhand der Kapazität des Interdigitalkondensators (2) und der vom Thermoelement (1) erfaßten Temperatur oder anhand eines Spiegels zur optischen Auswertung.

5

7. Mikromechanisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Bauelement einen Wärmestrahlungssensor aufweist, der weiterhin umfaßt:

10 eine oberhalb des Bereichs (30) aus porösem Material vorgesehene Absorptionseinrichtung zum Absorbieren von Wärmestrahlung;

15 eine Peltierelementeinrichtung mit einem oder mehreren Peltierelementen (3, 4, 5) zum Erzeugen einer Thermospannung entsprechend einer Temperaturdifferenz zwischen einem Membranbereich neben dem Bereich (30) aus porösem Material und einem Membranbereich oberhalb dem Bereich (30) aus porösem Material; und

20 eine Temperaturerfassungseinrichtung zum Erfassen der Temperatur im Membranbereich oberhalb dem Bereich (30) aus porösem Material.

25 8. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 7, dadurch

gekennzeichnet, daß die Temperaturerfassungseinrichtung die Temperatur basierend auf der Thermospannung erfaßt.

9. Mikromechanisches Bauelement nach Anspruch 7, dadurch  
5 gekennzeichnet, daß eine Regelungseinrichtung zum Regeln der Temperatur in dem Membranbereich oberhalb dem Bereich (30) aus porösem Material mittels der Peltierelementeinrichtung vorgesehen ist und die Temperaturerfassungseinrichtung die Temperatur basierend auf der Regelleistung erfaßt.

10

10. Verfahren zum Herstellen eines mikromechanischen Bauelements mit einem Substrat (10) und einer auf dem Substrat (10) aufgebrachten Membran (40),

15 dadurch gekennzeichnet, daß

unterhalb der Membran (40) ein die Membran (40) mechanisch unterstützender und thermisch isolierender Bereich (30; 30') aus porösem Material zumindest zeitweilig vorgesehen wird.

20

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der Bereich (30; 30') aus porösem Material nach Bilden der Membran (40) wieder entfernt wird.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Mikromechanisches Bauelement

5

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung schafft ein mikromechanisches Bauelement mit  
einem Substrat (10) und einer auf dem Substrat (10) aufge-  
brachten Membran (40). Unterhalb der Membran (40) ist ein die  
Membran (40) mechanisch unterstützender und thermisch isolie-  
render Bereich (30; 30') aus porösem Material vorgesehen.

(Fig. 1)

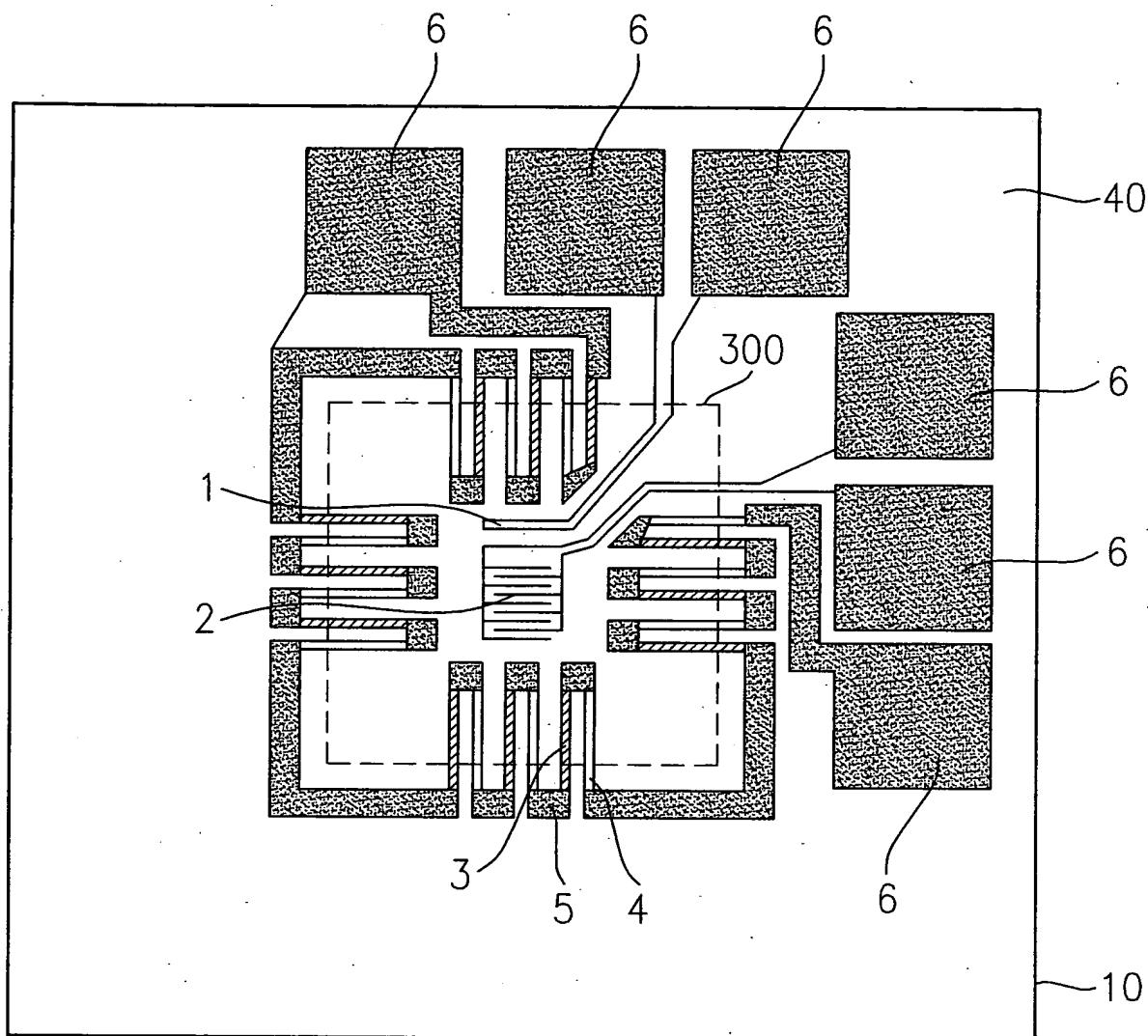


Fig. 1

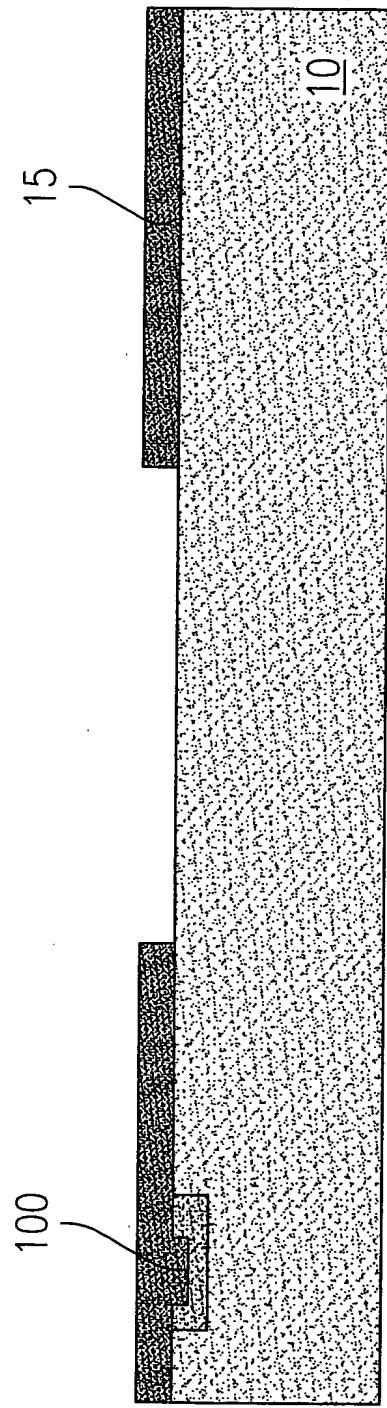


Fig. 2

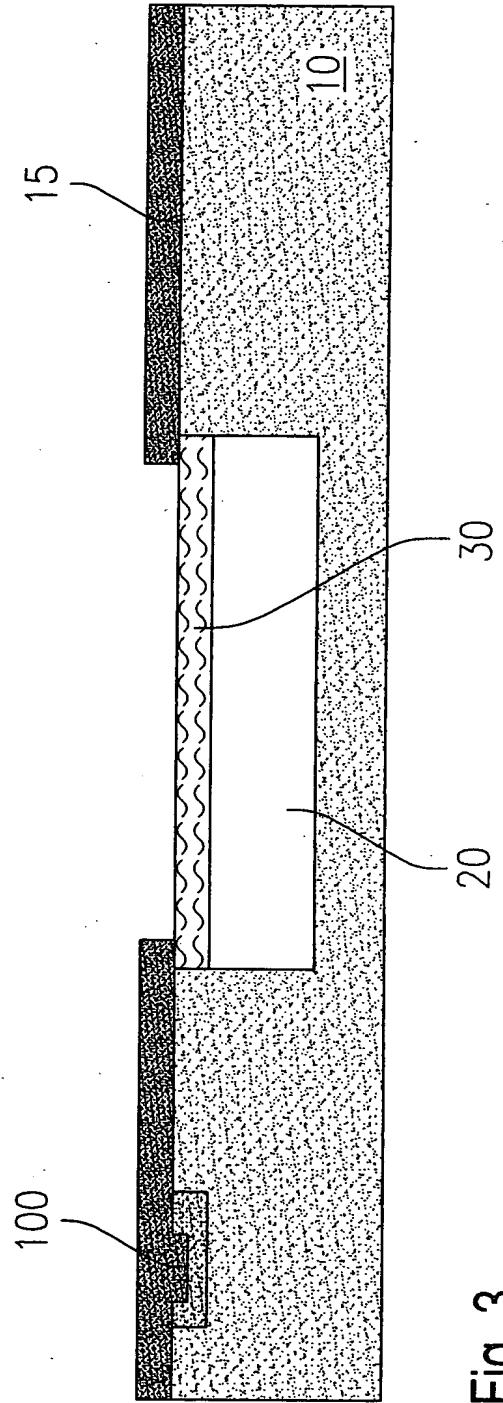
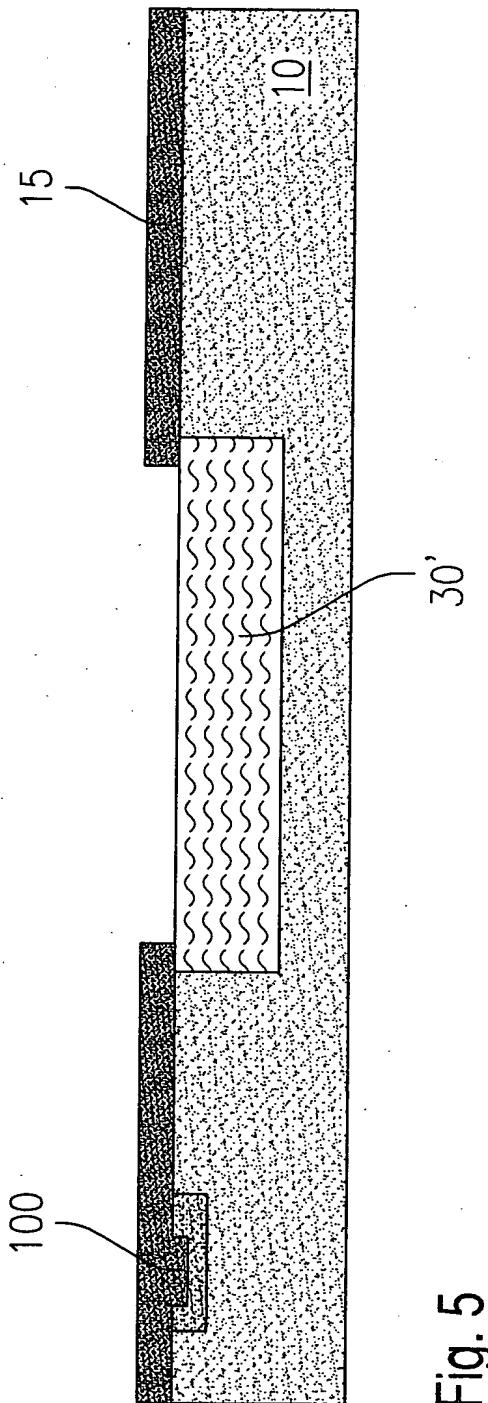
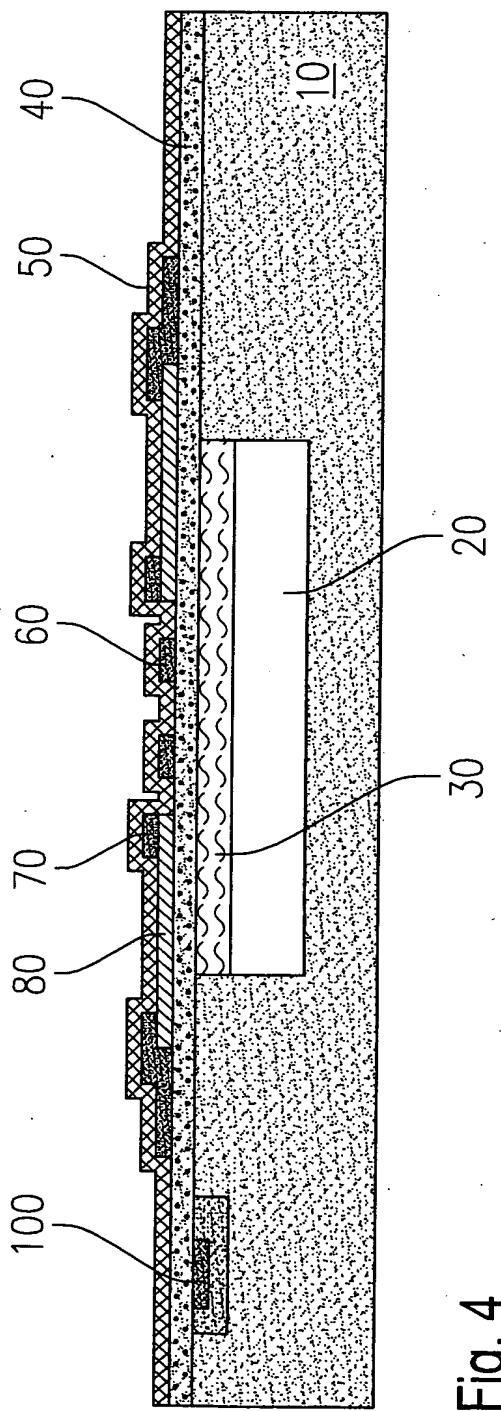


Fig. 3



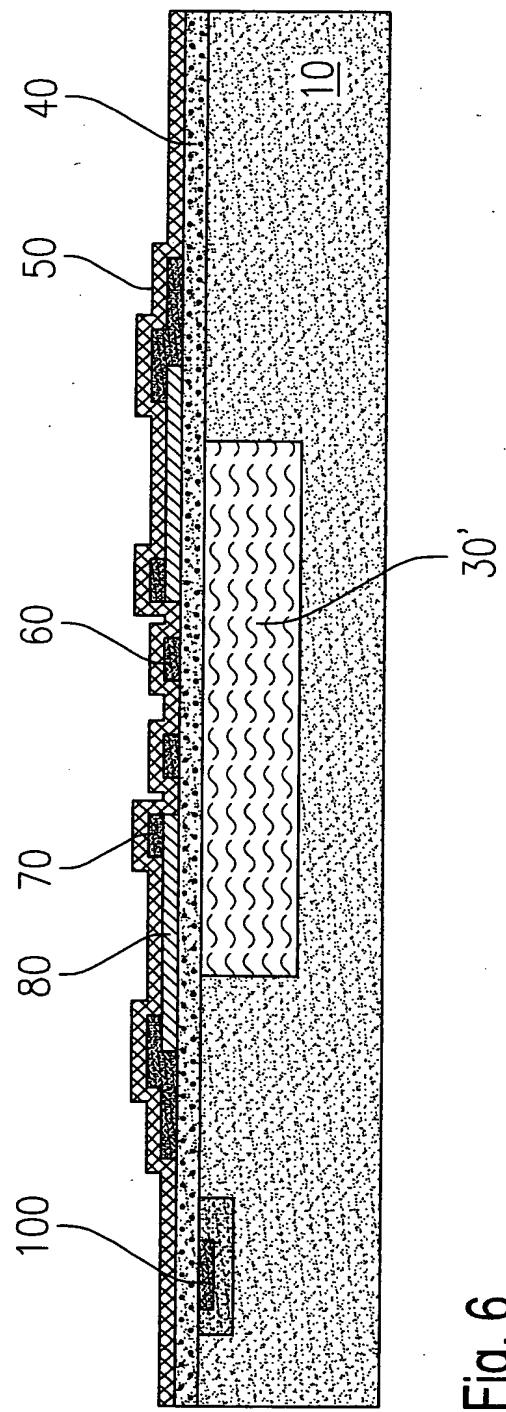


Fig. 6

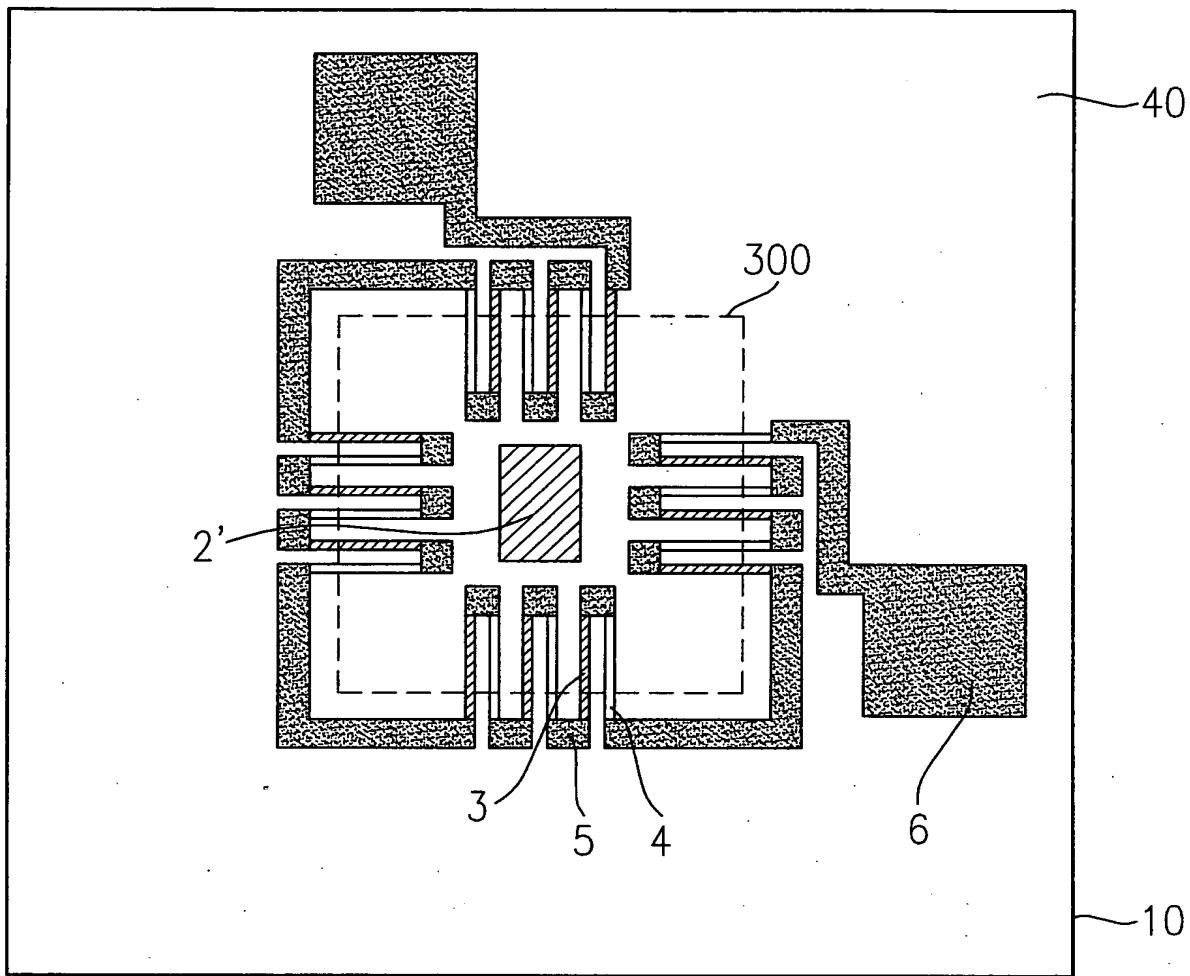


Fig. 7